データベースにおける非正規関係の設計と操作について(モデル表現とその構築に関する理論と実際の研究)

AUTHOR(S):

武田, 浩一; 上林, 弥彦; 矢島, 脩三

CITATION:

武田, 浩一 ...[et al]. データベースにおける非正規関係の設計と操作について(モデル表現とその構築に関する理論と実際の研究). 数理解析研究所講究録 1983, 495: 51-70

ISSUE DATE:

1983-06

URL:

http://hdl.handle.net/2433/103597

数理解析研究所講究録
495 巻 1983 年 51-70

データベースにおける非正規関係の設計と操作について

武田 浩一　　上林 弥彦　　矢島 脩三
Koichi Takeda　　Yahiko Kambayashi　　Shuzo Yajima

（京都大学・工学部）

1. まえがき

近年商用化が盛んな関係データベースシステムにおいて，データベース設計の中心的な理論となる正規化理論では才1正規形の関係（正規関係）を前提とし更新不整合や冗長度をできるだけ除いた高次の正規形が考えられてきた。一方で，OA分野でのformを用いたデータ処理等との整合性が良い非正規関係が利用者インタフェースとして重要であるという認識が高まっている。[SHU-L8209][KITAK8201]

本稿では従来あまり考察されなかった非正規関係の設計問題として，与えられた1つの正規関係とその関係上で成立する従属性集合から後者を反映した非正規関係の生成法を与える。このため，正規→非正規関係の変換のための基本操作とその木表現を導入する。従属性としては関数従属性（FD），結合従属性（JD）のクラスと含意従属性（ID）のクラスを考

える。用語，記法は[ULLM80]，[KAMBT83]に従う。

2. 非正規関係の変換操作

正規→非正規関係の変換操作として以下の4操作を用いる。ROW-NEST, COLUMN-NEST操作は[KITAK8201]にも見られるが，本稿では両者をできるだけ独立に扱えるように定義する。各操作が適用される関係Rは属性集合U上で定義され，Y_1，…，Y_n（$n \geq 0$，$Y_i \subseteq U$，任意のY_i，Y_jに対し$Y_i \cap Y_j = \phi$，$Y_i \supset Y_j$，$Y_j \supset Y_i$のいずれかが成立する）上に局所関係をもつとする。Rが正規関係なら$n = 0$である。今属性集合$X \subset U$は，(i)あるY_iに対し$X \subset Y_i$となり，任意の$Y_j \subset Y_i$は$X \cap Y_j = \phi$となるか，$X \supset Y_j$となる，(ii)すべてのY_iに対し$X \cap Y_i = \phi$あるいは$X \supset Y_i$となる，のいずれかを満足するものとする。(i)の場合はY_i，(ii)の場合はUを操作の場としWで表わす。

(1) ROW-NEST[X]：本操作はRのW上の各(局所)関係P（(ii)のときはP=Rとなる）に作用し，その各(W−X)−値$z \in P[W\text{-}X]$および組集合$S_z = \{ t \mid t \in P$かつ$t[W\text{-}X] = z \}$に対し$t_z[W\text{-}X] = z$，$t_z[X] = \{ t[X] \mid t \in S_z \}$となるW上の組$t_z$に変換した関係P'を生成する。W上の(局所)関係以外は変化しない。このとき各S_zをPの(W−X)−生成部分関係あるいは単に部分関係といい，各$t_z[X]$をX上の局所関係という。従って本操作により得られた関係R'はX上に新たに局所関係をもつ。

(2) GROUP-BY[X]：本操作はRのW上の各(局所)関係に，*ROW-NEST*[W−X]を適用するのと等価である。ただし以後のWを場とするROW-NEST[Y]やGROUP-BY[Y]はY∩X=φでないといけない。また任意のY_j⊂Wは$X \cap Y_j = \phi$であるとする。即ちGROUP-BY[X]はXに局所関係を含まないものとする。直観的にはGROUP-BY[X]はXの値による関係の横切りにあたる。

(3) COLUMN-NEST[A_1, …, A_k INTO V]：本操作はUの属性A_1, …, A_kを成分とする複合属性Vを定義する。A_iが既に定義された複合属性であるときも本操作を自然に拡張できる。

(4) RELATION-NEST[S, "name"]：本操作はRの局所関係のうちSと等しいものをすべて"name"で指定された名前と置き換え，Sを独立した関係として分離する。本操作は非正規関係が同一の局所関係をくり返して含むときに，その冗長度を減じた表現を得るのに用いられる。

3. 変換操作間の制約と操作の木表現

2節の基本操作の系列において，ある操作は以前に適用した操作を無効にしない限り適用できないことがある。このような操作間の制約を表わし，妥当な操作系列を定めるために*row-tree*, *column-tree*, *relation-tree* の3つの木を用いる。妥当な操作系列は木の変換規則として定めることができる。図1に操作系列と各木の例を示す。*row-tree* はROW-NEST, GROUP-

BY操作，column-treeはCOLUMN-NEST操作，relation-treeはRELATION-NEST操作を記述したものである。図中row-treeのラベルⓇはROW-NEST操作の適用，ⒼはGROUP-BY操作の適用を示す。column-treeは属性の順序を陽に表わす必要から順序木とする。各木の構成法[KAMBT83]は省略する。一般に，非正規関係の表による表現を可能とするために，各操作の適用は3つの木の上での次のような制約を満足したときに妥当とする。
(i) ROW-NEST[X]はrow-treeにおいて2節のWに相当する節点があり，column-treeにおいてXに含まれる各属性を示す端節が隣接しているときに妥当とする。(ii) GROUP-BY[X]はrow-treeにおいてWに相当する節点が存在するときに妥当とする。即ちGROUP-BY操作はCOLUMN-NEST操作と独立である。(iii) COLUMN-NEST[A_1, …, A_k INTO V]はcolumn-treeにおいて各A_iに相当する節点がありかつそれらがある1つの節点の子となっており，さらにA_1, …, A_kをこの順で隣接して得られた端節の順序がrow-treeにおいても実現可能であるときに妥当とする。(iv) RELATION-NEST[S, "name"]はROW-NEST操作，GROUP-BY操作により局所関係Sが生成されており，relation-treeにおいてSが2つ以上の節点の子とならないときに妥当とする。

column-treeにおける属性の移動やRELATION-NEST操作における局所関係の定義は実際にはMOVE-COLUMN操作やDEFINE-RELATION

操作が必要であるが本稿では省略する。以後 GROUP-BY 操作や ROW-NEST操作の系列の略記法として GROUP-BY[X_1];…;GROUP-BY[X_k] を GROUP-BY[X_1;…;X_k] と記す。COLUMN-NEST操作は関連属性集合を反映するのに用いるが本稿では省略する。[KAMBT83]

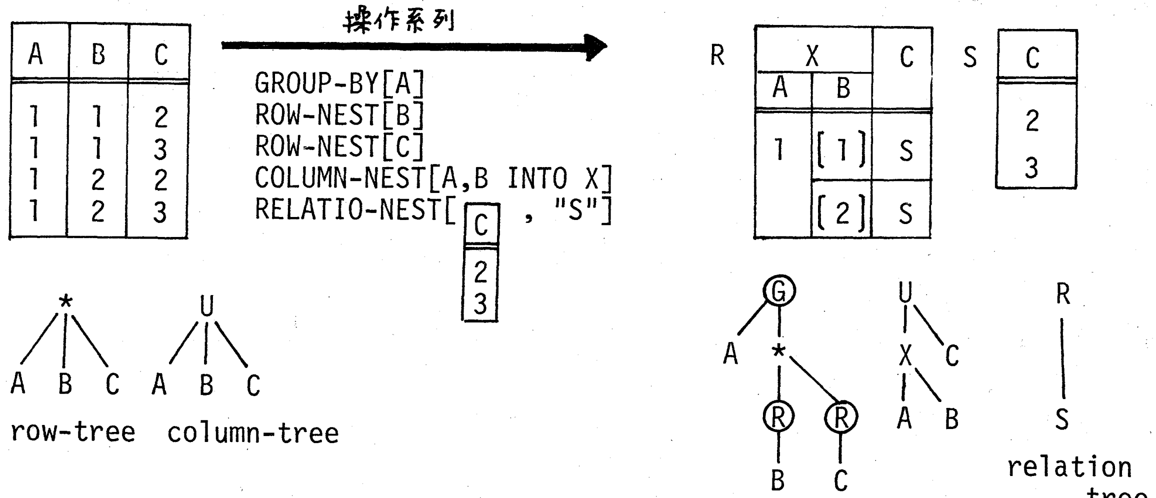


図1. 基本操作とその木表現

4. FD, JDを反映した非正規関係の生成

FD, JDおよび基本操作と非正規関係の対応には次の定理がある。[KAMBT83] ここでは正規関係を単に関係と呼ぶ。

[定理1] 関係 R ($\underline{R} \supset X$) に GROUP-BY[X] を施して得られる各部分関係では ϕ(空集合)→ X という FD が成立する。

[定理2] 関係 R ($\underline{R} = X_0 X_1 \cdots X_n$) において FD集合 $\{X_i \rightarrow X_{i+1} \mid i=0,1,\cdots,n-1\}$ が成立するとき(これをFD鎖 $X_0 \rightarrow X_1 \rightarrow \cdots \rightarrow X_n$ という),

GROUP-BY[X_n; X_{n-1}; … ; $X_1 - X_2 - \cdots - X_n$]

によって得られる非正規関係 $R_n, \cdots, R_1$ では順に各部分関係が

X_{n-1}, …, X_0 上の属性値集合に関して互いに素な分割となる。特に $X_i \cap X_j = \phi$ ($i \neq j$, $i,j = 0, 1, \cdots, n$) のときは $X_n, \cdots, X_0$ 上の各属性値がただ一度のみ現われる階層的な対応となる。

[定理3] 関係 R が JD $*[Y_1, \cdots, Y_m]$ を満足し，$X \subset \underline{R}$ であるとする。このとき R に GROUP-BY[X] を施して得られる各部分関係においてもやはり $*[Y_1, \cdots, Y_m]$ が成立する。

[定理4] 関係 R が $\phi \rightarrow X$ を満足すると仮定する。このとき R が JD $*[Y_1, \cdots, Y_m]$ を満足することと R が潜在 JD $*[Y_1 - X, \cdots, Y_m - X]$ を満足することは同値である。

JD の有用な図式表現としてハイパーグラフが用いられている。[FAGIM 8209] JD $j: *[Y_1, \cdots, Y_m]$ のハイパーグラフ G_j は節点の集合 N と（ハイパー）枝の集合 E から成り，N は各属性 $A \in \bigcup_{i=1}^{m} Y_i$ に対し1つの節点をもち，E は各 Y_i に対し Y_i に含まれる属性の節点を輪状に囲んだ枝をもつ。節点と属性，枝と属性集合は区別せずに用いる。2つ以上の要素をもつ，E の各部分集合 E' に対し，E' のすべての要素の集合積をとったものを共有節点集合（AS と略す）と呼ぶ。1つ以上の AS $X_1, \cdots, X_k$ ($k \geq 1$) に対し，G_j から $X_1, \cdots, X_k$ の属性を取り除き，互いに素な E の部分集合（連結成分 CC という）の数が増加すれば，$X_1 \cdots X_k$ を切集合（CS）と呼ぶ。

[定理5] 関係 R が JD $j: *[Y_1, \cdots, Y_m]$ を満足すると仮定する。

G_j が AS　X をもち，G_j から X を除いて得られる CC が $S_1, \cdots, S_k$ となるなら，R に

GROUP-BY[X]; ROW-NEST[S_1; … ; S_k]

を施して得られる非正規関係 R' の各組は，一意な X-値と各 S_i 上にただ1つの局所関係をもつ。($i=1, \cdots, k$) さらに各 S_i 上の局所関係では $*[Y_1 \cap S_i, \cdots, Y_m \cap S_i]$ が成立する。

4.1. 単一JD仮定と非正規関係の設計

本稿では FD, JD から成る従属性集合 Σ を満足する関係 R が与えられたとき，ある1つの JD j と FD 集合 F があり $F \cup \{j\} \models \Sigma$，$\Sigma \models F \cup \{j\}$ となることを仮定する。この仮定のもとでは，定理2，5よりまず j を反映し，各局所関係で成立する FD 集合 $F' \subseteq F^+$ を反映できることがわかる。

例1．図2(a)の関係 R ($\underline{R}$ = ABCDEF) および $\Sigma = \{ *[AB, BCD, DEF], E \rightarrow F \}$ が与えられたとする。$*[AB, BCD, DEF]$ より AS　B が得られるので，B と CC　A，CDEF に対し

GROUP-BY[B]; ROW-NEST[A; CDEF]

を適用する。(図2(b))　CDEF 上では $*[CD, DEF]$ が成立するので同様に AS　D と CC　C，EF に対し

GROUP-BY[D]; ROW-NEST[C; EF] を適用し，最後に EF 上の局所関係で成立する FD　$E \rightarrow F$ を反映するために

GROUP-BY[F]

を適用する。（図２（ｃ））

(a)

A	B	C	D	E	F
0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	2	1
0	1	1	1	3	3
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	1
1	1	1	1	3	3

*[AB, BCD, DEF] が成立．
E → F

(b)

B	A	C	D	E	F
1	0 1	1 1 1	1 1 1	1 2 3	1 1 3

(c)

B	A	D	C	F	E
1	0 1	1	1	1 3	1 2 3

図2．単-JD仮定での非正規関係の生成

単－JD仮定のもとでの非正規関係の生成における問題は，一般に次のものを考えねばならない。

（1）JD の各成分や成分にまたがるFD が存在する場合の扱い。特にJD とFD の干渉により新たなFD が含意されることがある。

（2）GROUP-BY操作を行なうAS の順序の決定．例1 の場合ではGROUP-BY[B] とGROUP-BY[D] の順序はどちらが先でもよい。（結果は異なる．）特にAS 間に包含関係がある場合には順序の決定が重要である．

（3）与えられたFD, JD が非正規関係で保存・管理できるか．これは非正規関係に対する更新操作やもとの関係との等価性を論じるうえで重要である．

上記の問題を4.2～4.3で考察する。

4.2. FDを考慮したJDの反映

定理5を利用したJDの反映過程にFDを考慮するとGROUP-BY操作を施すASの順序や属性集合を決定するのに利用できる。これを次の4つの場合に分けて考察する。

(1) 1つのAS内のFD

AS $X = X_1 X_2$ があり，FD $X_1 \rightarrow X_2$ ($X_1 \cap X_2 = \phi$) が成立するものとする。このときGROUP-BY[X]よりもGROUP-BY[X_2; X_1]の適用により，JDの反映過程でFD $X_1 \rightarrow X_2$ を反映できるという利点がある。同様に $X \supseteq X_1 \cdots X_k$ かつFD鎖 $X_1 \rightarrow \cdots \rightarrow X_k$ ($X_i \cap X_j = \phi$) が成立するときも，(i) GROUP-BY[X_k; … ; X_1]を適用し，(ii) もし $X - \bigcup_{i=1}^{k} X_i \neq \phi$ ならGROUP-BY[$X - \bigcup_{i=1}^{k} X_i$]を適用する，とすればよい。

(2) AS間のFD

AS X_1，…，X_k 内にFDが存在する場合には，それがFD鎖 $X_1 \rightarrow \cdots \rightarrow X_k$ の場合には4.3で述べるようにASの順序付けに利用できる。さらに複雑なFD (例えば $X_1' X_2' \rightarrow X_3$，($X_1' \subset X_1$, $X_2' \subset X_2$) については (i) $X = X_1 \cdots X_k$ を1つのCSと考え，(ii) (1)の1つのAS内のFDの反映と同じ方法を用いる，ことで扱える。この場合には一般に冗長な局所関係がROW-NEST操作により生じうるのでRELATION-NEST操作を用いるとよい。

(3) AS外の属性も含んだFD

AS X と X_2 ($X \cap X_2 = \phi$) なる属性集合がありFD $X \rightarrow X_2$ が成立するときはGROUP-BY[X]による各部分関係では X_2 の値が定数になり冗長である。従ってGROUP-BY[X_2 ; X]により，JDの反映過程にこのFDを反映させるとよい。FDを反映する一般的な方法としては次のようにする。(i) Xをすべての AS の和集合とする。(ii) $X \rightarrow Y$ ($X \cap Y = \phi$) となる Y ($\neq \phi$) が存在すればGROUP-BY[Y]を適用する。(iii) 与えられた関係Rの全属性集合をUとすると，(ii) により得られた各局所関係で成立するFD，JDを反映する。($U - Y$ 上の従属性は定理1, 3, 4より容易に求められる。) YがFD鎖のときも同様である。

(4) FDとJDの干渉

FDとJDの干渉により (i) JDの1つの成分内で成立するFDがあればその成分をさらにいくつかの成分に分けたJDが含意される，(ii) JDの成分にまたがるFDによって，もとのFDのみからは含意できない新たなFDが含意される，の2通りの場合が生じる。(i) の場合は成分内のFDがASを変えなければ問題ないが，それ以外の場合には必ずしも同じ非正規関係を生じないことがある。(ii) の場合には次の定理を用いる。

[定理6] 与えられたJD j : $*[Y_1, \ldots, Y_m]$ およびFD集合Fに

対し，(i) $X \to A \in F^+$ ($X \not\ni A$)，(ii) j のハイパーグラフ G_j においてあるAS Z と G_j から Z を除いて得られるあるCC S があり，$S \ni A$ かつ $\bigcup_{i=1}^{n} Y_i - S \supseteq X$ となる，が成り立つとき FD $Z \to A$ が $F \cup \{j\}$ により含意される。

証）[BEERY81] の FD-EJD 則あるいは [FAGIM8209] の定理3と [BEERF7708] の FD-MVD 則より容易に導ける。

4.3. GROUP-BY 操作を行なうASの順序付け

ASの順序付けについては (a) FDを考えない場合と (b) FDを考えた場合の2つを考察する。

a. JDのみを考慮したASの順序付け

JD j のハイパーグラフ G_j の2つのAS X_1，X_2 が $X_1 \cap X_2 = \phi$ となるときは GROUP-BY[X_1]，GROUP-BY[X_2] のいずれを先に適用するかを決定する有効な手段は得られていない．例えば生成される非正規関係のサイズに関して言えば，JDやFDの情報のみでなくインスタンスにも依存した問題である。$X_1 \cap X_2 \neq \phi$ のときはASの包含関係の半順序が利用できる。

例2．図3 (a) の JD *[ABC，ABD，BE] を満足する図3(b)の関係を考える。このJDのハイパーグラフにおけるASはBとABである。ASとしてABを用いればCCはC，D，Eで

GROUP-BY[AB]; ROW-NEST[C; D; E]

により図3 (c) の非正規関係を得る。一方，ASとしてBを

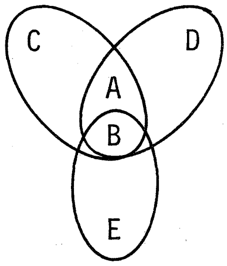
用いればCCはE，ACDで

GROUP-BY[B]; ROW-NEST[E; ACD]

を施し，ACD上でさらにAS AとCC C，Dを得るので

GROUP-BY[A]; ROW-NEST[C; D]

を用いて図3(d)の非正規関係を得る。図3(c)では本質的にBの値にのみ依存していたE上の属性値集合がAの値で細分され重複して現われている。



(a)

(b)

A	B	C	D	E
1	1	1	1	1
1	1	1	1	2
1	1	1	2	1
1	1	1	2	2
2	1	2	3	1
2	1	3	3	1
2	1	3	3	2

(c)

A	B	C	D	E
1	1	[1]	[1, 2]	[1, 2]
2	1	[2, 3]	[3]	[1, 2]

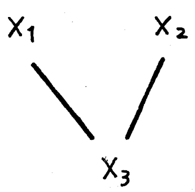
(d)

<table>
<tr><th>B</th><th>A</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>1</td><td>[1]</td><td>[1, 2]</td><td rowspan="2">[1, 2]</td></tr>
<tr><td>2</td><td>[2, 3]</td><td>[3]</td></tr>
</table>

図3. AS間に包含関係があるJD

$X_1 \cap X_2 \neq \phi$ の場合は次の2通りである。

(i) $X_1 \cap X_2 \neq \phi$ であるが $X_1 \supseteq X_2$ や $X_1 \subseteq X_2$ が成立しないとき。$X_3 = X_1 \cap X_2$ がCSであれば例2のようにX_1あるいはX_2に先立ってGROUP-BY[X_3]を施すとよい。即ちASの半順序が定まり



GROUP-BY[X_3];

GROUP-BY[X_1]; ⎫ どちらが先でも
GROUP-BY[X_2]; ⎭ よい

のようになる。X_3がCS でないときも上と同様に考えてよい。(生成される局所関係の数は単に GROUP-BY[X_1], GROUP-BY[X_2] を用いた場合と同じになる。)

(ii) $X_1 \supseteq X_2$ のとき。例2のように GROUP-BY[X_2] を施し, X_2 を除いて得られる CC に対し ROW-NEST 操作を施し, 次いで $X = X_1 - X_2$ に対し, GROUP-BY[X] を施すとよい。

[定理7] 関係 R および JD j : *[Y_1, …, Y_m] が与えられたとする。G_j の AS X_1, X_2 が存在し $X_1 \supset X_2$ を満足し, X_2 に対する CC を T, S_1, …, S_k, また X_1 に対する CC を T_1, …, T_ℓ, S_1, …, S_k とする。R に

GROUP-BY[X_2]; ROW-NEST[S_1; …; S_k; T]

GROUP-BY[$X_1 - X_2$]; ROW-NEST[T_1; … ; T_ℓ]

を施して得られる非正規関係を R_1 とする。R に

GROUP-BY[X_1]; ROW-NEST[T_1; …; T_ℓ; S_1; …; S_k]

を施して得られる非正規関係を R_2 とする。このとき以下が成立する。

(a) R_1 と R_2 は T_1, …, T_ℓ 上に同数の同じ局所関係をもつ。

(b) R_1 は S_1, …, S_k 上に $|R[X_2]|$ 個の局所関係をもち, R_2 は S_1, …, S_k 上に $|R[X_1]|$ 個の局所関係をもつ。$|R[X_1]|$, $|R[X_2]|$ はそれぞれ $R[X_1]$, $R[X_2]$ の個数を表わし, $|R[X_1]| \geq |R[X_2]|$ である。等号が成立するのは R が $X_2 \rightarrow X_1$ を満足するときで,

それ以外のときにはR_2がR_1の$S_1, \cdots, S_K$上の局所関係をいくつか重複してもつことになる。（証明略）

b. FDを考慮したASの順序付け

4.2で既に述べたようにAS間のFDは順序づけに利用できる。

例3. 図4(a)のJD *[AB, BCD, DE]を満足する図4(b)の関係を考える。このJDのハイパーグラフにおけるASはBとDである。Bを先にした場合の操作系列は

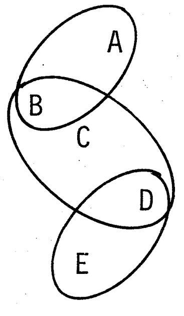
GROUP-BY[B]; ROW-NEST[A; CDE]
GROUP-BY[C]; ROW-NEST[D; E]　} …(*)

となる。今FD　B→Dが成立するとすれば(*)の系列よりも

GROUP-BY[D]; ROW-NEST[ABC; E]
GROUP-BY[B]; ROW-NEST[A; C]　} …(**)

の方がE上の局所関係の数が一般に少ない非正規関係を生成する。(*), (**)の適用結果をそれぞれ図4(c), (d)に示す。

(a)



(b)

A	B	C	D	E
1	1	1	1	1
1	1	1	1	2
2	2	2	1	1
2	2	2	1	2
3	2	2	1	1
3	2	2	1	2

(c)

B	A	D	C	E
1	[1]	[1]	[1]	[1, 2]
2	[2, 3]	[1]	[2]	[1, 2]

(d)

D	E	B	A	C
1	[1, 2]	1	[1]	[1]
		2	[2, 3]	[2]

図4.　AS間にFDが成立するJD

aで考えたAS X, Yの包含関係も実はFD $X \rightarrow Y$ ($X \supset Y$) で表現できるので，ASの順序付けはこれらのFD集合から1つのFD鎖 $X_1 \rightarrow \cdots \rightarrow X_k$ (X_i はASの和集合) を求め，このFD鎖を反映するGROUP-BY操作を生成することにより扱える。上記4.2〜4.3の議論をまとめて次の方法を得る。

FDとJDを反映した非正規関係の生成法。

(1) 与えられた関係をR，従属性集合を $\Sigma = F \cup \{j\}$ とする。定理6により新たなFDが得られればこれをFに加える。j のハイパーグラフ G_j のすべてのASの集合を W_0 とする。

(2) ASの順序付けを行なうFD集合 O を次のように構成する。(i) AS X_1, X_2 が $X_1 \supset X_2$ を満たせば $X_1 \rightarrow X_2$ を O に加える。(ii) AS $X_0, \cdots, X_k$ に対し $X_1 \cdots X_k \rightarrow X_0$ がFより含意されればこれを O に加える。(iii) O のFDに現われないAS X があれば自明なFD $X \rightarrow X$ を O に加える。

(3) O より1つのFD鎖 P を求める。FD鎖の生成法は文献[KAMBT83]に従う。Pを $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow \cdots \rightarrow V_n$ とする。

(4) 定理2によりPの各属性集合に対しGROUP-BY操作を施す。今 V_i に対しGROUP-BY操作を施すとする。GROUP-BY操作の場をWとすると $V_i \rightarrow Z$ となる属性集合 Z ($V_i \cap Z = \phi$, ZはFD鎖でも同様に扱える) をFより求め，まずGROUP-BY [$Z \cap W$] を適用し，次にGROUP-BY [V_i] を適用する。G_j から V_i を除い

て得られるCCに対してROW-NEST操作を施す。（V_i内にFDが成立すれば4.2(1)を適用する。）Fに$\phi \rightarrow V_i Z$を加える。

4.4. 非正規関係上の制約

非正規関係がGROUP-BY操作やROW-NEST操作により反映できる意味制約を考えると次の2種類に分けられる。

(1) [階層性] $\underline{R} = X_0 X_1 \cdots X_n$ ($X_i \cap X_j = \phi$) 上の関係Rに対し

GROUP-BY[X_n; X_{n-1}; $\cdots$; X_2]

を施して得られた非正規関係をR'とする。このとき各X_i生成部分関係において現われるX_{i-1}-値の集合は互いに他と素であるならばRはFD鎖 $X_1 \rightarrow \cdots \rightarrow X_n$を満足している。($i=2, \cdots, n$)

(2) [直積性] $\underline{R} = X_0 X_1 \cdots X_n$ ($X_i \cap X_j = \phi$) 上の関係Rに対し

GROUP-BY[X_0]; ROW-NEST[X_1; $\cdots$; X_n]

を施して得られる非正規関係の各組が一意なX_0－値と各X_i ($i=1, \cdots, n$) 上にただ1つの局所関係をもつとき，RはJD $*[X_0 X_1, \cdots, X_0 X_n]$を満足している。

従って，上記(1)，(2)と定理2,5より素なFD鎖や第一階階層従属性（FOHD）は非正規関係上で完全に反映できることがわかる。従って，更新操作による非正規関係上のデータ操作を許しても上記の制約を管理すればもとの従属性を保存できる。同様に$\Sigma = \{ *[X_1 \cdots X_m, X_1 Y_1, \cdots, X_m Y_m, X_m Y_{m+1}], X_m \rightarrow X_{m-1} \rightarrow \cdots \rightarrow X_1 \}$ ($\underline{R} = X_1 \cdots X_m Y_1 \cdots Y_{m+1}$) といった従属性は保存できる。

5. 含意従属性と非正規関係

含意従属性(ID)はFDやJDを含んだ広いクラスの従属性であり，射影や結合で閉じている[FAGI8004][HULL81]ため，質問結果やビュー上の制約を記述する点で有用である。IDはテンプレート従属性(TD)と拡張関数従属性(XFD)の2つのクラスの従属性から成るといえる。本節ではIDを反映する非正規関係の生成について基本的な考察を行なう。

[定理9][FAGIM8105] 属性集合U上の任意のTD集合に対し，それと等価なU上の1つのTDが存在する。U=ABのときは，U上の任意のTDは自明なTDであるか，*[A,B]と等価であるか，次のTDと等価である。

A	B
a_1	b_1
a_2	b_2
a_2	b_1
a_1	b_1

定理9の3つめのTDは，ROW-NEST[A;B]により，各A-値，B-値がただ1つの局所関係に現われるような非正規関係を生じるための条件と等価となる。また定理9より，任意の多値従属性(MVD)の集合は1つのTDで表現できるため，4節の単一JDの仮定では扱えなかった推移的なMVD集合もTDを反映する方法により扱えることがわかる。TDの特徴は，JDの場合と異なり局所関係間に干渉が生じることである。この

ため次の操作を導入する。

MERGE [Z with Y connected] : 本操作はZ,Y上に局所関係をもつが $Z' \subset Z$, $Y' \subset Y$ 上には局所関係をもたない非正規関係Rに適用できる。本操作は以下の条件を満たすRの各極大組集合 S を1つの組 t に写像した非正規関係 R' を生成する。

(1) S の任意の組 t_i, t_j に対し S 中の組の系列 $t_{i_1}, \cdots, t_{i_k}$ があり $t_{i_p}[Y] \cap t_{i_{p+1}}[Y] \neq \phi$ かつ $t_{i_1} = t_i$, $t_{i_k} = t_j$ となる。

(2) S の任意の2つの組 t_i, t_j に対し $t_i[Z] = t_j[Z]$ となる。

このとき $t[Z] = t_i[Z]$ かつ $t[\underline{R} - Z] = \{ t_i[\underline{R} - Z] \mid t_i \in S \}$.

ここで t を単に R' の組, $t_i[\underline{R} - Z]$ を R' の部分組と呼ぶ。

[定理10] $U = XYZW$ ($X \sim W$ は互いに素) 上の関係 R に対し

GROUP-BY [X]; ROW-NEST [Y ; Z ; W]; MERGE [Z with Y connected]

を適用して得られた非正規関係を R' とする。R' が (i)各部分組に一意な X-値をもち, (ii)各組の Y-値集合は連結かつ他の組とは素となっている, という制約を満たすことと R が MVD $X \twoheadrightarrow Y \mid ZW$, $Y \twoheadrightarrow Z \mid XW$ を満たすことは同値である。(証明略)

定理10を一般化すればMVD鎖 $X_1 \twoheadrightarrow X_2 \twoheadrightarrow X_3 \twoheadrightarrow \cdots$ という従属性を非正規関係により反映できることが示せる。

TD, XFDはそれぞれある種のJD, FDを含意することが知られており [PARE 8208], これと定理1より適当なGROUP-BY操作を用いるとFD, JDの反映に帰着できる。

謝辞　日頃御討論頂く矢島研究室の諸氏および［KAMBT83］の共同研究者であり有益な御助言，御討論頂く神戸大学教養部田中克己助手（現 南カリフォルニア大学）に深謝する。

参考文献

[BEERR8001] Beeri,C. and Rissanen,J. "Faithful Representations of Relational Database Schemes", IBM Research Report, RJ2722, Jan. 1980
[BEERF7708] Beeri,C., Fagin,R. and Howard,J.H. "A Complete Axiomatization for Functional and Multivalued Dependencies in Database Relations", Proc 1977 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp.47-61, Aug. 1977.
[BEERV81] Beeri,C. and Vardi,M.Y. "On the Properties of Join Dependencies", Advances in Data Base Theory, (Eds. Gallaire,H. et al.), Plenum Press, New York, 1981
[CODD 7006] Codd,E.F. "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks", CACM, Vol.13, No.6, pp.377-387, June 1970
[FAGI 8004] Fagin,R. "Horn Clauses and Database Dependencies", Proc. 12th Ann. ACM Symp. on Theory of Computing, pp.123-134, April 1980
[FAGIM8105] Fagin,R., Maier,D., Ullman,J.D. and Yannakakis,M. "Tools for Template Dependencies", IBM Research Report, RJ3033, May 1981
[FAGIM8209] Fagin,R., Mendelzon,A.O. and Ullman, J.D. "A Simplified Universal Relation Assumption and its Properties", ACMTODS, Vol.7, No.3, pp.343-360, Sept. 1982
[HULL 81] Hull,R. "Implicational Dependency and Finite Specification", Technical Report, Computer Science Department, University of Southern California, 1981
[JAESS8203] Jaeschke,G. and Schek,H.-J. "Remarks on the Algebra of Non First Normal Form Relations", Proc. of ACM SIGACT-SIGMOD Symposium on Principles of Database Systems, pp.124-138, March 1982
[KAMBT7911] Kambayashi,Y., Tanaka,K. and Yajima,S. "Semantic Aspects of Data Dependencies and Their Application to Relational Database Design", COMPSAC, pp.398-403, Nov. 1979
[KAMBT8201] Kambayashi,Y., Tanaka,K., Takeda,K. and Yajima,S. "Representation of Relations for Database Output Utilizing Data Dependencies", Proc. of 15th Hawaii ICSS, pp.69-78, Jan. 1982
[KAMBT83] Kambayashi,Y., Tanaka,K. and Takeda,K. "Synthesis of Unnormalized Relations Incorporating More Meaning", to appear in the Special Issue on Databases of International Journal of Information Sciences, 1983
[KITAK8201] Kitagawa,H. and Kunii,T.L. "Form Transformer - Formal Aspects of Table Nests Manipulation", Proc. of 15th Hawaii ICSS, pp.132-141, Jan. 1982
[LEDOP8209] LeDoux,C.H. and Parker,D.S.,Jr. "Reflections on Boyce-Codd Normal Form", Proc. VLDB, pp.131-141, Sept. 1982
[LIEN 8204] Lien,Y.E. "On the Equivalence of Database Models", JACM, Vol.29, No.2, pp.333-362, April 1982
[LUO-Y8104] Luo,D. and Yao.S.B. "Form Operation By Example - a Language for Office Information Processing", Proc. of ACM SIGMOD Int. Conf. on Mangement

of Data, pp.212-223, April 1981
[MAIEM7912] Maier,D., Mendelzon,A.O. and Sagiv,Y. "Testing Implications of Data Dependencies", ACMTODS, Vol.4, No.4, pp.455-469, Dec. 1979
[MAKI 7710] Makinouchi,A. "A Consideration on Normalized Form of Not-Necessarily-Normalized Relation in the Relational Data Model", Proc. VLDB, pp.447-453, Oct. 1977
[PARE 8208] Paredaens,J. "A Universal Formalism to Express Decompositions, Functional Dependencies and Other Constraints in a Relational Database", Theoretical Comp. Sci. 19, pp.143-160, August 1982
[SADRU8004] Sadri,F. and Ullman,J.D. "A Complete Axiomatization for a Large Class of Dependencies in Relational Databases", Proc. 12th Ann. ACM Symp. on Theory of Computing, pp.117-122, April 1980
[SCIO 8104] Sciore,E. "Real-World MVD's", Proc. of ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, pp.121-132, April 1981
[SHU-L8209] Shu,N.C., Lum,V.Y., Tung,F.C. and Chang,C.L. "Specification of Forms Processing and Business Procedures for Office Automation", IEEE Trans. on SE, Vol.SE-8, No.5, pp.499-512, Sept. 1982
[ULLM 80] Ullman,J.D. Principles of Database Systems, Computer Science Press, 1980